Die Richtungsverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung an dünnen Pt-Folien

(Auszug)

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Julius-Maximilians-Universität
zu Würzburg

Vorgelegt von
DIPLOM-PHYSIKER HEINZ HUSSY
aus Schweinfurt

REFERENT: PROF. DR. H. KULENKAMPFF

Würzburg 1956

Tag der mündl. Prüfung:
17. Februar 1956

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

EINLEITUNG

Untersucht man die azimutale Intensitätsverteilung der Röntgen-Bremsstrahlung, so werden die Messungen durch die Diffusion und den Geschwindigkeitsverlust der Elektronen in der Antikathode gestört. Diese Einflüsse können durch Verwendung dünner Antikathoden klein gehalten werden.

Messungen der azimutalen Intensitätsverteilung an dünnen Folien wurden für Spannungen bis 40 kV bereits durchgeführt. Für höhere Spannungen (bis 170 kV) liegen Messungen nur an massiven Antikathoden vor. Um hierbei obige Störeinflüsse in erträglichen Grenzen zu halten mußte man sich auf Elemente niederer Ordnungszahl beschränken.

Eine Beobachtung der Abhängigkeit der Intensitätsverteilung von der Ordnungszahl läßt sich also nur durch Verwendung einer „dünnen" Antikathode ermöglichen. Messungen an Ni-Folien liegen bereits im unteren Spannungsbereich (bis 40 kV) vor (Honerjäger, Ann. Phys. 38, 33, 1940), für höhere Spannungen wären diese noch durchzuführen.

Im Zusammenhang mit neueren Untersuchungen von Kießling (Diss. Würzburg 1955) an dünnen Al-Antikathoden wurde das Problem erneut aufgegriffen.

Ziel der Arbeit war die Messung der winkelabhängigen Intensitätsverteilung an dünnen Schichten für ein Element hoher Ordnungszahl im Spannungsbereich bis 200 kV.

VERSUCHSANORDNUNG

Die Messung der Intensitätsverteilung erforderte den Bau einer neuen Apparatur, die eine Beobachtung der Röntgenstrahlung über etwa einen Quadranten ermöglichte. Weitgehende Parallelität des Kathodenstrahles am Ort der Antikathode und die Freiheit des Beobachtungsbereiches von störender Strahlung machten eine entsprechend gute Bündelung und Führung des Elektronenstrahles notwendig. Erzeugung und Fokussierung der Elektronen erfolgte in einer Hohlanodenröhre, die anodenseitig geerdet, kathodenseitig mit einem einstufigen Kaskadengenerator als Hochspannungsquelle verbunden war. Die gewünschte Ablenkung der Elektronen ließ sich mit Hilfe von zwei magnetischen 60°-Sektorfeldern erreichen, zwischen denen die Antikathode angeordnet war. Zur Kontrolle der Größe und Richtung des Strahlstromes konnte der die Folie durchsetzende Anteil der Elektronen gemessen werden. Der Strahlquerschnitt am Ort der Folie betrug $0{,}8 \times 7$ mm². Ein Al-Fenster ermöglichte den Austritt der Röntgenstrahlung aus dem Vakuumgefäß. Die Messung der Strahlung erfolgte mit einem Gamma-Zählrohr, dessen spektrale Empfindlichkeit für eine Quantenenergie von 110 keV am größten war. Bei einer Abschirmung mit 22 mm Pb zeigte sich noch ein Nulleffekt von 22 T/min.

Die Folien bestanden aus Rohfilm bzw. „Formvar". Diese Trägerschichten (ca. 1000 Å) wurden im Vakuum mit Metall bedampft. Zur besseren Stabilität der Schwermetallfolie erwies sich eine unterlegte Al-Schicht als zweckmäßig. Die Dicke der Folien wurde aus der Intensität der Röntgenstrahlung bestimmt. Die Intensität für die richtige Schichtdicke konnte aus einer — bezüglich der mittleren Zahl der Einzelstreuprozesse äquivalenten — 1000 Å Al-Folie mittels einer von Leisegang (Z. Phys. **132**, 183, 1952) benutzten Formel berechnet werden. Für diese Vergleichsfolie (Al) erwies sich die Diffusion noch genügend klein (Hussy, Diplomarbeit Wzbg. 1953).

MESSUNGEN

Eine spektrale Zerlegung der Strahlung war wegen der geringen zur Verfügung stehenden Intensität nicht möglich. Desgleichen konnte in dem untersuchten Spannungsbereich wegen des Fehlens von Absorptionskanten kein enger Spektralbereich ausgefiltert werden. Es ließ sich nur eine Einengung des gesamten Spektrums gegen die kurzwellige Grenze hin erreichen. Dazu wurden Kupferfilter mit Stärken von 3, 6, 9, 12 mm verwendet. Berechnungen ergaben, daß sich das Spektrum selbst bei stärkster Filterung über einen beträchtlichen Frequenzbereich erstreckte, d. h. der Schwerpunkt dieses Spektrums noch recht weit von der Grenzfrequenz entfernt war.

Zur Ermittlung der Verteilungskurven fand die von der Antikathode in einem Raumwinkel konstanter Größe emittierte Strahlung als Funktion des Azimutes Anwendung. Der Abstand der Meßpunkte betrug 6°, an Extremstellen 3°.

Die Meßgenauigkeit wurde von verschiedenen Faktoren beeinflußt. Zum Gesamtfehler von 7% trugen die Schwankungen des Emissionsstromes mit 2%, statistische Schwankungen mit 3%, Einstellungenauigkeiten mit 2% bei.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Richtungsverteilung der Strahlung wurde für Spannungen von 109 kV und 160 kV bei den verschiedenen Filterstärken aufgenommen. Um einen Vergleich der relativen Intensitäten der einzelnen Verteilungskurven zu ermöglichen, wurden diese für die Ausstrahlungsrichtung 90° gleichgesetzt. Diese Gleichsetzung ist unter der Voraussetzung erlaubt, daß die spektrale Energieverteilung der dünnen Antikathode für diesen Winkel konstant ist. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß gerade dieser Bezugspunkt, der aus den Nachbarpunkten extrapoliert werden mußte, mit einer recht erheblichen Unsicherheit behaftet ist.

Die gewonnenen Verteilungskurven, die in der Originalarbeit wiedergegeben sind, zeigen im allgemeinen das von Elementen niederer Ordnungszahl her bekannte Verhalten. Bei gleicher Spannung läßt sich mit zunehmender Filterung eine stärkere Ausprägung der Extremwerte der Verteilungskurven erkennen. Ferner beobachtet man dabei eine schwache Verlagerung der Maxima der Intensität zu größeren Winkeln.

Der Einfluß möglicher Störungen auf die Messung wird erörtert. Die mittlere Diffusion an einer der Platinfolie bezüglich der Streuprozesse äquivalenten 1000 Å Al-Folie beträgt rund 2°. Der nicht ganz parallele Einfall der Elektronen auf die Folie -- bedingt durch die fokussierende Wirkung des Magnetfeldes -- verursacht einen Streuwinkel von etwa 4°. Diese mittlere Diffusion von ± 4° wirkt wie ein „Schütteln" der „wahren" Verteilungskurve um diesen Winkelbereich. Sie macht sich unter den einzelnen Winkelstellungen verschieden stark bemerkbar, beeinträchtigt aber die Messungen im Maximum wenig. Der zweite Störeinfluß, der Geschwindigkeitsverlust, kann für höhere Beschleunigungsspannungen vernachlässigt werden.

Die unterschiedliche spektrale Zusammensetzung der emittierten Strahlung in Abhängigkeit vom Azimut erfordert eine Aufnahme der Strahlung für eine definierte Frequenz. Die zur Verfügung stehenden Intensitäten erlauben jedoch nur die Verwendung von Filtern, womit der ausgesonderte Frequenzbereich nicht beliebig eingeengt werden kann. Der Grund für die erwähnte Abhängigkeit der Extremwerte von der Filterstärke und die beobachtete Verbreiterung der Verteilungskurven bei kleineren Frequenzen ist also vorzüglich in der mangelnden Monochromasie der gefilterten Strahlung zu suchen. Diese ungenügende Monochromasie bedingt, daß neben der Grenzfrequenz auch noch wesentlich weichere Strahlung zur Messung kommt. Je schwächer nun die Filterung, d. h. je breiter der Spektralbereich, um so mehr verlagert sich der Schwerpunkt der ausgefilterten Spektralbereiche nach kleineren Frequenzen. Diese Verlagerung des Schwerpunktes im Spektrum bedingt jedoch eine Verbreiterung der Verteilungskurven, was zu einer Auffüllung des Minimums unter 0° führt. In der Arbeit werden Darstellungen für die Abnahme des Intensitätsverhältnisses der Extremwerte mit zunehmender Filterstärke gezeigt. Für ein Ele-

ment mit großem bzw. kleinem Z ergibt sich dabei eine unterschiedliche Abnahme der Intensitätsverhältnisse, wobei für ein schweres Element (Pt) die Abnahme wesentlich langsamer erfolgt als für ein leichtes Element (Al). Dies beruht (bei sonst gleichen Parametern) auf einer stärkeren Auffüllung des Minimums bei Pt gegenüber Al, was wiederum durch eine geringere Zunahme des Polarisationsgrades für das schwere Element zu erklären ist. Bekanntlich steigt der Polarisationsgrad im Spektrum mit der Frequenz monoton an, und zwar für kleine Z stärker als für große Z.

Die Zunahme des Intensitätsverhältnisses (I min : I max) mit der Röhrenspannung für das gleiche Element (bei konstanter Filterstärke) rührt von der abnehmenden Wirksamkeit der Filter her. Für das Intensitätsmaximum der Verteilungskurven zeigt sich wieder ein Wandern der Lage im Spektrum. Durch die unterschiedliche spektrale Zusammensetzung der Strahlung verschiebt sich mit zunehmender Filterung das Maximum von 34° nach 37° (für 109 kV), bzw. von 27° nach 30° (für 160 kV).

Vergleicht man die Lage des Intensitätsmaximums einer Pt-Antikathode mit einer Al-Antikathode (Kießling, Diss. Wzbg. 1955), so zeigt sich keine Abhängigkeit der Lage des Maximums von der Ordnungszahl. Zu gleichem Ergebnis führten die Messungen von Honerjäger an dünnen Ni-Folien.

Das Fehlen einer — für den untersuchten Spannungsbereich gültigen — Theorie ermöglicht leider keinen Vergleich der Messungen mit theoretischen Aussagen.

Eine Erweiterung der Messungen nach kleineren Frequenzen scheiterte an einer geeigneten Filtermethode. Trotz dieses Mangels ergeben die Untersuchungen, daß die Lage des Intensitätsmaximums von der Ordnungszahl unabhängig ist. Ferner zeigte sich, daß für ein schweres Element das Verhältnis der Intensitätswerte (I min : I max) mit steigender Filterung nicht so stark abnimmt, wie bei Elementen niederer Ordnungszahl.

HÄRTDRUCK